

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2008-307640
(P2008-307640A)

(43) 公開日 平成20年12月25日(2008. 12. 25)

(51) Int. Cl.
B 2 5 J 13/00 (2006. 01)

F I
B 2 5 J 13/00 Z

テーマコード (参考)
3 C 0 0 7

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 (22) 出願日	特願2007-157470 (P2007-157470) 平成19年6月14日 (2007. 6. 14)	(71) 出願人 000005326 本田技研工業株式会社 東京都港区南青山二丁目1番1号 (71) 出願人 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 (74) 代理人 100077805 弁理士 佐藤 辰彦 (74) 代理人 100081477 弁理士 堀 進 (74) 代理人 100099690 弁理士 鷲 健志 (74) 代理人 100109232 弁理士 本間 賢一
		最終頁に続く

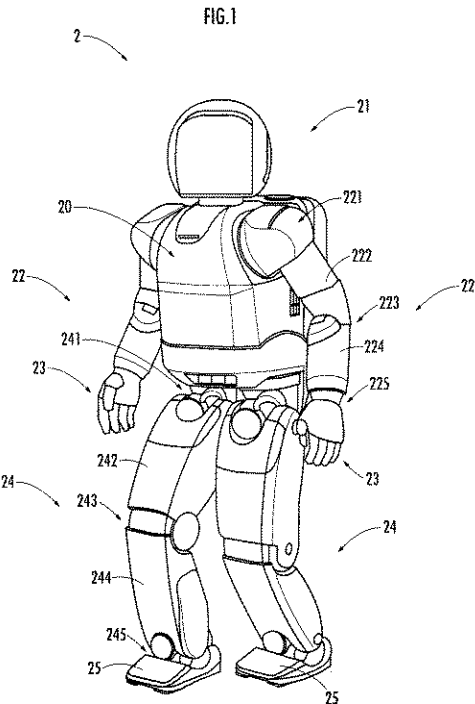
(54) 【発明の名称】 運動制御システム、運動制御方法および運動制御プログラム

(57) 【要約】

【課題】 人間（第1運動体）が接する環境およびこの環境に応じた運動態様と、ロボット（第2運動体）が実際に接する環境とに鑑みて、当該第2運動体の運動を従来技術よりも適切に制御することができるシステム等を提供する。

【解決手段】 本発明によれば、人間1の運動態様のうち特徴的部分さえ学習されれば、他の部分が学習されなくても十分であるという思想のもとに人間1の運動態様が学習される。そして、人間1の運動態様のうち特徴的部分さえ再現されれば、他の部分は再現されなくても十分であるという思想のもと、当該学習結果としてのモデルが用いられてロボット2の運動態様が制御される。これにより、人間1の運動態様を規範としながらも当該運動態様に必要以上に拘束されることなく、ロボット2の運動態様が制御される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 運動体の運動態様を規範として第 2 運動体の運動態様を制御するシステムであって、
前記第 1 運動体を取り巻く環境を表す外的因子および前記第 1 運動体の運動態様を表す
内的因子のそれぞれのうち一部を、外的特徴因子および内的特徴因子のそれぞれとして、
該第 1 運動体異なる環境に応じて運動を繰り返すたびに測定し、当該測定結果により表
される該外的特徴因子および該内的特徴因子の離散的な相関関係に基づき、該外的特徴因
子および該内的特徴因子の連続的な相関関係を表すモデルを定義する第 1 処理部と、

前記第 2 運動体が接する該外的特徴因子を測定し、当該測定結果と該第 1 処理部により
定義された該モデルとに基づいて該内的特徴因子を算定し、少なくとも当該算定内的特徴
因子が実現されるように該第 2 運動体の運動態様を制御する第 2 処理部とを備えているこ
とを特徴とする運動制御システム。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記測定結果により表される前記外的特徴因子および前記内的特徴
因子の離散的な相関関係と、当該離散的な相関関係に基づいて定義される前記外的特徴因
子および前記内的特徴因子の連続的な相関関係との乖離度を評価し、該乖離度が閾値以下
であることを要件として、当該連続的な相関関係を表す前記モデルを定義することを特徴
とする運動制御システム。

20

【請求項 3】

請求項 2 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記要件が満たされるように前記外的特徴因子および前記内的特徴
因子の測定結果のうち一部または全部を除いて前記モデルを定義することを特徴とする運
動制御システム。

【請求項 4】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記第 1 運動体異なる環境に応じて一定のスタイルにしたがって
運動を繰り返すたびに前記外的特徴因子および前記内的特徴因子を測定することを特徴と
する制御システム。

【請求項 5】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が前記第 1 運動体の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結
果の追加に伴って前記モデルを逐次定義し、

前記第 2 処理部が該第 1 処理部により逐次定義される該モデルに基づいて前記第 2 運動
体の前記運動態様を逐次制御することを特徴とする制御システム。

30

【請求項 6】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 2 処理部が、前記第 2 運動体が接する前記外的特徴因子を逐次測定し、当該逐次
測定される該外的特徴因子に基づいて前記第 2 運動体の運動態様を逐次制御することを特
徴とする制御システム。

40

【請求項 7】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記第 1 運動体の特定部位の一の動作によって力を受けるときの物
体の位置を前記外的特徴因子として測定し、該一の動作が終了したときの該特定部位の位
置を前記内的特徴因子として測定することを特徴とする制御システム。

【請求項 8】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が前記第 1 運動体の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結
果の中から規則性を有する集合を規則的集合として抽出し、当該規則的集合に基づいて前
記モデルを定義することを特徴とする運動制御システム。

50

【請求項 9】

請求項 8 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記第 1 運動体が異なる環境に応じて運動を繰り返すたびに前記内的因子のうち一部である内的付加因子を測定し、前記外的特徴因子および前記内的特徴因子のそれぞれの測定結果が、該内的付加因子により定義される空間において高密度で集まっている該内的付加因子の測定点に対応付けられていることを前記規則性として、前記規則的集合を抽出することを特徴とする運動制御システム。

【請求項 10】

請求項 8 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記第 1 運動体が異なる環境下で一定のスタイルにしたがって複数回にわたり運動するときの前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づいて前記モデルを定義し、競合する複数の前記規則的集合が抽出された場合、当該複数の規則的集合のそれぞれに対応する新たなスタイルを定義した上で、該第 1 運動体が当該新たなスタイルにしたがって複数回にわたり運動するときの前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づいて前記モデルを再び定義することを特徴とする運動制御システム。

10

【請求項 11】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記第 1 運動体の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づき、定義域が異なる、共通の性質を有する複数の局所的モデルを定義し、隣接する該定義域における該局所的モデルを接続することによって前記モデルを定義することを特徴とする制御システム。

20

【請求項 12】

請求項 11 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が、前記共通の性質を有する前記局所的モデルとして線形モデルを定義することを特徴とする運動制御システム。

【請求項 13】

請求項 11 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づき、前記モデルの局所的な性質を抽出するための統計的手法を用いて前記局所的モデルを定義することを特徴とする運動制御システム。

30

【請求項 14】

請求項 13 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が前記統計的手法として LWPR (Locally Weighted Projection Regression) アルゴリズムを用いて前記局所的モデルを定義することを特徴とする運動制御システム。

【請求項 15】

請求項 1 記載の運動制御システムにおいて、

前記第 1 処理部が前記第 1 運動体としての人間の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づいて前記モデルを定義し、

40

前記第 2 処理部が該第 1 処理部により定義された外車増に基づき、前記第 2 運動体としてのヒューマノイドロボットの前記運動態様を制御することを特徴とする運動制御システム。

【請求項 16】

第 1 運動体の運動態様を規範として第 2 運動体の運動態様を制御する方法であって、

前記第 1 運動体を取り巻く環境を表す外的因子および前記第 1 運動体の運動態様を表す内的因子のそれぞれのうち一部を、外的特徴因子および内的特徴因子のそれぞれとして、該第 1 運動体が異なる環境に応じて運動を繰り返すたびに測定し、当該測定結果により表される該外的特徴因子および該内的特徴因子の離散的な相関関係に基づき、該外的特徴因子および該内的特徴因子の連続的な相関関係を表すモデルを定義する第 1 処理と、

50

前記第 2 運動体が接する該外的特徴因子を測定し、当該測定結果と該第 1 処理において定義された該モデルとに基づいて該内的特徴因子を算定し、少なくとも当該算定内的特徴因子が実現されるように該第 2 運動体の運動態様を制御する第 2 処理とを実行することを特徴とする運動制御方法。

【請求項 17】

第 1 運動体の運動態様を規範として第 2 運動体の運動態様を制御するシステムとしてコンピュータを機能させるプログラムであって、

前記第 1 運動体を取り巻く環境を表す外的因子および前記第 1 運動体の運動態様を表す内的因子のそれぞれのうち一部を、外的特徴因子および内的特徴因子のそれぞれとして、該第 1 運動体異なる環境に応じて運動を繰り返すたびに測定し、当該測定結果により表される該外的特徴因子および該内的特徴因子の離散的な相関関係に基づき、該外的特徴因子および該内的特徴因子の連続的な相関関係を表すモデルを定義する第 1 処理部と、

10

前記第 2 運動体が接する該外的特徴因子を測定し、当該測定結果と該第 1 処理部により定義された該モデルとに基づいて該内的特徴因子を算定し、少なくとも当該算定内的特徴因子が実現されるように該第 2 運動体の運動態様を制御する第 2 処理部とを備えている運動制御システムとして前記コンピュータを機能させることを特徴とする運動制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、人間等の第 1 運動体の運動態様を規範としてロボット等の第 2 運動体の運動態様を制御するシステム等に関する。

【背景技術】

【0002】

さまざまな環境に応じて人間により選択されたロボットのさまざまな行動事例の集合に基づき、ロボットの行動ルールを生成する第 1 の技術手法が提案されている（たとえば、特許文献 1 参照）。また、人間の運動をロボットに再現させるため、人間の教示作業（モーション・キャプチャ）により与えられた特定点の空間軌跡または運動パターンを時系列的に分節し、その分節された空間軌跡を組み合わせてロボットの運動パターンを生成する第 2 の技術手法が提案されている（たとえば、特許文献 2 参照）。

30

【特許文献 1】特開 2001-166803 号公報 第 0053 段落～第 0069 段落、図 1～図 6

【特許文献 2】特開 2002-301674 号公報 第 0118 段落～第 0131 段落、図 13～図 18

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、第 1 の技術手法によれば、ロボットの運動パターンが学習結果としての複数の行動事例の範囲内に限定されてしまう。また、第 2 の技術手法によれば、ロボットの運動パターンが学習結果としての分節空間軌跡の組み合わせに束縛されてしまう。このため、これら第 1 および第 2 の技術手法によれば、ロボットが任意の環境に接したときに当該環境態様に鑑みて不適切なパターンで運動することを強制される可能性がある。

40

【0004】

そこで、本発明は、人間等の第 1 運動体が接する環境およびこの環境に応じた運動態様と、ロボット等の第 2 運動体が実際に接する環境とに鑑みて、当該第 2 運動体の運動を従来の技術手法よりも適切に制御することができるシステム等を提供することを解決課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

前記課題を解決するための第 1 発明の運動制御システムは、第 1 運動体の運動態様を規

50

範として第2運動体の運動態様を制御するシステムであって、前記第1運動体を取り巻く環境を表す外的因子および前記第1運動体の運動態様を表す内的因子のそれぞれのうち一部を、外的特徴因子および内的特徴因子のそれぞれとして、該第1運動体異なる環境に応じて運動を繰り返すたびに測定し、当該測定結果により表される該外的特徴因子および該内的特徴因子の離散的な相関関係に基づき、該外的特徴因子および該内的特徴因子の連続的な相関関係を表すモデルを定義する第1処理部と、前記第2運動体が接する該外的特徴因子を測定し、当該測定結果と該第1処理部により定義された該モデルとに基づいて該内的特徴因子を算定し、少なくとも当該算定内的特徴因子が実現されるように該第2運動体の運動態様を制御する第2処理部とを備えていることを特徴とする。

【0006】

10

第1発明の運動制御システムによれば、第1運動体の運動態様のうち特徴的部分さえ学習されれば、他の部分が学習されなくても十分であるという思想のもとに第1運動体の運動態様が学習される。具体的には、第1運動体が接する環境を表す「外的因子」の一部または特徴的部分である「外的特徴因子」と、第1運動体の運動態様を表す「内的因子」の一部または特徴的部分である「内的特徴因子」とが測定される。また、当該測定結果により表される外的特徴因子および内的特徴因子の離散的な相関関係に基づき、両者の連続的な相関関係を表す「モデル」が定義または設定される。このため、外的特徴因子および内的特徴因子のそれぞれが定義域において網羅的に測定されなくても、任意の外的特徴因子に基づいて内的特徴因子が一義的に特定されるモデルが定義されうる。当該モデルは、さまざまな環境下における第1運動体の振舞または運動態様の傾向を、外的因子および内的因子のそれぞれの全部によって厳密にではなく、外的因子および内的因子のそれぞれの特徴的部分によっておおまかに表すモデルであるといえる。なお、外的因子および内的因子のそれぞれの測定結果の中から連続的な相関関係が定義されるという条件を満たす外的因子および内的因子が外的特徴因子および内的特徴因子として選定されてもよく、実験や研究に基づく経験則に基づき、測定対象となる外的特徴因子および内的特徴因子が予め設定されていてもよい。

20

【0007】

そして、第1運動体の運動態様のうち特徴的部分さえ再現されれば、他の部分は再現されなくても十分であるという思想のもと、当該学習結果としてのモデルが用いられて第2運動体の運動態様が制御される。具体的には、第2運動体が接する外的特徴因子が測定され、当該学習結果としてのモデルと当該測定結果とに基づいて内的特徴因子が算定される。当該モデルは外的特徴因子および内的特徴因子の連続的な相関関係を表しているので、任意の外的特徴因子に基づいて内的特徴因子が一義的に算出されうる。さらに、少なくとも当該算定内的特徴因子が実現されるように運動計画がたてられ、かつ、当該運動計画にしたがって第2運動体の運動態様が制御される。

30

【0008】

前述のような学習方法および当該学習結果の利用方法により、第1運動体の運動態様を規範としながらも当該運動態様に必要以上に拘束されることなく、第2運動体の運動態様が制御されうる。したがって、第1運動体が接する環境およびこれに応じた運動態様と、第2運動体が実際に接する環境とに鑑みて、当該第2運動体の運動を従来技術よりも適切に制御することができる。

40

【0009】

また、第2発明の運動制御システムは、第1発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が、前記測定結果により表される前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の離散的な相関関係と、当該離散的な相関関係に基づいて定義される前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の連続的な相関関係との乖離度を評価し、該乖離度が閾値以下であることを要件として、当該連続的な相関関係を表す前記モデルを定義することを特徴とする。

【0010】

第2発明の運動制御システムによれば、外的特徴因子および内的特徴因子の離散的な相関関係と、当該離散的な相関関係に基づいて定義される外的特徴因子および内的特徴因子

50

の連続的な相関関係との乖離度が閾値以下であることを要件として当該連続的な相関関係を表すモデルが定義される。このため、さまざまな環境に応じた第1運動体の運動態様の傾向を表す観点から適当なモデルが定義される。また、当該要件が満たされるように外的特徴因子および内的特徴因子が再度測定され、当該再度の測定結果に基づいてモデルが再度定義されうる。そして、当該モデルに基づいて第2運動体の運動態様が第1運動体の運動態様の大まかな傾向にしたがうように制御されうる。言い換えると、第1運動体の運動態様のおおまかな傾向を表す観点から不適当なモデルが設定されることが防止され、かつ、当該不適当なモデルに基づいて第2運動体の運動態様が制御されることが防止されうる。

【0011】

10

さらに、第3発明の運動制御システムは、第2発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が、前記要件が満たされるように前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果のうち一部または全部を除いて前記モデルを定義することを特徴とする

第3発明の運動制御システムによれば、外的特徴因子および内的特徴因子の離散的な相関関係と、当該離散的な相関関係に基づいて定義される連続的な相関関係との乖離度が閾値以下であるという要件を満たすように、当該離散的な相関関係を表す両特徴因子の測定結果が取舍選択される。そして、取舍選択された測定結果に基づいて両特徴因子の連続的な相関関係を表すモデルが定義され、当該モデルに基づいて第2運動体の運動態様が制御される。このため、さまざまな環境に応じた第1運動体の運動態様の傾向を表す観点から適当なモデルが定義され、かつ、当該モデルに基づいて第2運動体の運動態様が第1運動体の運動態様の大まかな傾向にしたがうように制御されうる。

20

【0012】

また、第4発明の運動制御システムは、第1発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が、前記第1運動体が異なる環境下で一定のスタイルにしたがって複数回にわたり運動するときの前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の複数回にわたる測定結果に基づいて前記モデルを定義することを特徴とする。

【0013】

第4発明の制御システムによれば、複数の異なるスタイルのそれぞれについてモデルが定義されうる。これにより、一のモデルに基づいて運動計画がたてられることにより、第2運動体が当該一のモデルに応じたスタイルにしたがって運動するようにその運動態様が制御されうる。

30

【0014】

さらに、第5発明の運動制御システムは、第1発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が前記第1運動体の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果の追加に伴って前記モデルを逐次定義し、前記第2処理部が該第1処理部により逐次定義される該モデルに基づいて前記第2運動体の前記運動態様を逐次制御することを特徴とする。

【0015】

第5発明の制御システムによれば、第1運動体の運動態様の最新の学習結果としてのモデルに基づき、第2運動体の運動態様を制御することができる。

【0016】

40

また、第6発明の運動制御システムは、第1発明の運動制御システムにおいて、前記第2処理部が、前記第2運動体が接する前記外的特徴因子を逐次測定し、当該逐次測定される該外的特徴因子に基づいて前記第2運動体の運動態様を逐次制御することを特徴とする。

【0017】

第6発明の運動制御システムによれば、第2運動体が接する環境、ひいては当該環境を表す外的特徴因子が変動するような場合でも、当該外的特徴因子の最新の測定結果に鑑みて、第2運動体の運動態様が適当に制御されうる。

【0018】

さらに、第7発明の運動制御システムは、第1発明の運動制御システムにおいて、前記

50

第 1 処理部が、前記第 1 運動体の特定部位の一の動作によって力を受けるときの物体の位置を前記外的特徴因子として測定し、該一の動作が終了したときの該特定部位の位置を前記内的特徴因子として測定することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

第 7 発明の運動制御システムによれば、第 1 運動体が特定部位の一の動作によって物体に力を作用させるという運動態様の学習結果として、物体の任意の位置に基づき、当該特定部位の動作の終了位置が決定されるようなモデルが定義される。したがって、第 2 運動体の特定部位の一の動作によって力を受けるときの物体の予測位置（外的特徴因子）と、当該モデルとに基づき、少なくとも第 2 運動体の当該特定部位の一の動作の終了位置（内的特徴因子）が実現されるように第 2 運動体の当該一の動作が制御されうる。

10

【 0 0 2 0 】

また、第 8 発明の運動制御システムは、第 1 発明の運動制御システムにおいて、前記第 1 処理部が前記第 1 運動体の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果の中から規則性を有する集合を規則的集合として抽出し、当該規則的集合に基づいて前記モデルを定義することを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

第 8 発明の運動制御システムによれば、外的特徴因子および内的特徴因子の測定結果のうち、規則性に関する要件を満たさない測定結果が除去された上で、当該要件を満たす測定結果のみに基づいてモデルが定義される。これにより、第 1 運動体の運動態様のうち規則的部分を基礎として、第 2 運動体の運動態様を制御する観点から適当なモデルが定義されうる。

20

【 0 0 2 2 】

さらに、第 9 発明の運動制御システムは、第 8 発明の運動制御システムにおいて、前記第 1 処理部が、前記内的因子である内的付加因子を前記第 1 運動体の 1 回の運動ごとに前記外的特徴因子および前記内的特徴因子に対応付けて測定し、前記外的特徴因子および前記内的特徴因子のそれぞれの測定結果が、該内的付加因子により定義される空間において高密度で集まっている該内的付加因子の測定点に対応付けられていることを前記規則性として、前記規則的集合を抽出することを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

第 9 発明の運動制御システムによれば、外的特徴因子および内的特徴因子のそれぞれの測定結果に対応付けられて一または複数の「内的付加因子」が測定される。さらに、当該内的付加因子により定義される空間において、高密度で集まっている測定点に対応する外的特徴因子および内的特徴因子の測定結果の集合が規則的集合として抽出される。これにより、内的付加因子の測定結果のまとまりの程度に鑑みて、第 1 運動体が一定のスタイルにしたがって運動したときの測定結果とはいえない、外的特徴因子および内的特徴因子の不規則的な測定結果が除去されうる。そして、当該規則的集合が用いられることにより、当該一定のスタイルにしたがった第 1 運動体の運動態様の学習結果として適当なモデルが定義されうる。なお、内的負荷因子の測定点の密度が高いとは、当該密度が閾値以上であることや、当該密度が複数の区域の中で所定純以内であること等を意味する。

30

【 0 0 2 4 】

また、第 10 発明の運動制御システムは、第 8 発明の運動制御システムにおいて、前記第 1 処理部が、前記第 1 運動体が異なる環境下で一定のスタイルにしたがって複数回にわたり運動するときの前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づいて前記モデルを定義し、競合する複数の前記規則的集合が抽出された場合、当該複数の規則的集合のそれぞれに対応する新たなスタイルを定義した上で、該第 1 運動体が当該新たなスタイルにしたがって複数回にわたり運動するときの前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づいて前記モデルを再び定義することを特徴とする。

40

【 0 0 2 5 】

第 10 発明の運動制御システムによれば、一のスタイルにしたがった第 1 運動体の運動態様の学習結果として複数のモデルが定義されうるような場合、複数の新たなスタイルが

50

定義される。さらに、当該複数の新たなスタイルのそれぞれにしたがった第1運動体の運動態様があらためて学習される。そして、第1運動体の運動態様の学習結果として一のスタイルに応じて定義された一のモデルに基づいて第2運動体の運動態様が制御されうる。これにより、第2運動体の運動態様が一のモデルに基づいて制御されているにもかかわらず、似たような環境に応じて第2運動体が異なるスタイルで運動するような事態が回避される。

【0026】

さらに、第11発明の運動制御システムは、第1発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が、前記第1運動体の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づき、定義域が異なる、共通の性質を有する複数の局所的モデルを定義し、隣接する該定義域における該局所的モデルを接続することによって前記モデルを定義することを特徴とする。

10

【0027】

第11発明の制御システムによれば、異なる定義域において複数の局所的モデルが定義され、当該複数の局所的モデルが統合されることで採集的なモデルが定義される。各局所的モデルは共通の性質を有しているため、当該性質を表現するための共通の規則にしたがって異なる局所的モデルが定義されうる。これにより、局所的モデルの定義を簡易化し、ひいてはモデルの定義を簡易化することができる。

【0028】

また、第12発明の運動制御システムは、第11発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が、前記共通の性質を有する前記局所的モデルとして線形モデルを定義することを特徴とする。

20

【0029】

第12発明の運動制御システムによれば、線形モデルを表現するための共通の規則にしたがって異なる局所的モデルが定義されうる。ここで「線形モデル」とは、定義域における任意の外的特徴因子 x （ベクトルまたはスカラー）について値域における内的特徴因子 y が $c \cdot x$ （ c は係数または係数対角行列）と表現される線形写像を意味する。これにより、局所的モデルの定義を簡易化し、ひいてはモデルの定義を簡易化することができる。

【0030】

さらに、第13発明の運動制御システムは、第11発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づき、前記モデルの局所的な性質を抽出するための統計的手法を用いて前記局所的モデルを定義することを特徴とする。

30

【0031】

第13発明の運動制御システムによれば、モデルの局所的な性質を抽出するための統計的手法が用いられることにより、異なる定義域のそれぞれにおいて固有の性質を有する局所的モデルが定義されうる。

【0032】

また、第14発明の運動制御システムは、第13発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が前記統計的手法としてLWPR (Locally Weighted Projection Regression) アルゴリズムを用いて前記局所的モデルを定義することを特徴とする。

40

【0033】

第14発明の運動制御システムによれば、LWPR アルゴリズムにしたがって異なる定義域のそれぞれにおいて固有の性質を有する局所的モデルが定義されうる。

【0034】

さらに、第15発明の運動制御システムは、第1発明の運動制御システムにおいて、前記第1処理部が前記第1運動体としての人間の前記外的特徴因子および前記内的特徴因子の測定結果に基づいて前記モデルを定義し、前記第2処理部が該第1処理部により定義された外車増に基づき、前記第2運動体としてのヒューマノイドロボットの前記運動態様を

50

制御することを特徴とする。

【0035】

第15発明の運動制御システムによれば、人間の運動態様を規範としながらも当該運動態様に必要以上に拘束されることなく、ヒューマノイドロボットの運動態様が制御される。これにより、たとえばさまざまな環境に応じた人間の一方または両方の腕の動作がおおまかに再現されるようにロボットの一方または両方の腕部の動作が制御される。また、さまざまな環境に応じた人間の一方または両方の脚の動作がおおまかに再現されるようにロボットの一方または両方の脚部の動作が制御される。

【0036】

前記課題を解決するための第16発明の運動制御方法は、第1運動体の運動態様を規範として第2運動体の運動態様を制御する方法であって、第1発明の運動制御システムにおいて前記第1および第2処理部のそれぞれが実行する処理を実行することを特徴とする。

【0037】

第16発明の運動制御方法によれば、第1運動体の運動態様を規範としながらも当該運動態様に必要以上に拘束されることなく、第2運動体の運動態様が制御される。

【0038】

前記課題を解決するための第17発明の運動制御プログラムは、第1運動体の運動態様を規範として第2運動体の運動態様を制御するシステムとしてコンピュータを機能させるプログラムであって、第1発明の運動制御システムとして前記コンピュータを機能させることを特徴とする。

【0039】

第17発明の運動制御プログラムによれば、第1運動体の運動態様を規範としながらも当該運動態様に過剰に拘束されることなく、第2運動体の運動態様を制御しうるシステムとしてコンピュータを機能させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0040】

本発明の運動制御システムの実施形態について図面を用いて説明する。

【0041】

まず、本発明の一実施形態としての運動制御システムおよびその制御対象であるロボットの構成について説明する。

【0042】

図1に示されているロボット(第2運動体)2は、人間(第1運動体)1の運動を再現する機能を有するヒューマノイドロボットである。ロボット2は基体(または上体)20と、基体20の上方に配置された頭部21と、基体20の上部に上部両側から延設された左右の腕部22と、左右の腕部22のそれぞれの先端に設けられている手部23と、基体20の下部から下方に延設された左右の脚部24と、左右の脚部24のそれぞれの先端に設けられている足部25とを備えている。また、ロボット2は腕部22や脚部24等の各関節角度に応じた信号を出力するロータリーエンコーダ、手部23や足部25等に作用する力に応じた信号を出力する6軸力センサ等、ロボット2の運動態様を表す種々の内的因子を測定するための種々のセンサ204(図2参照)を備えている。さらに、ロボット2は腕部22、手部23および脚部24等の駆動源として各関節部分等に設けられたアクチュエータ206(図2参照)を備えている。

【0043】

基体20はヨー軸回りに相対的に回転するように上下に連結された上部および下部により構成されている。頭部21は基体20に対してヨー軸回りに回転する等、動くことができる。

【0044】

腕部22は第1腕リンク222と、第2腕リンク224とを備えている。基体20と第1腕リンク222とは肩関節221を介して連結され、第1腕リンク222と第2腕リンク224とは肘関節223を介して連結され、第2腕リンク224と手部23とは手根関

10

20

30

40

50

節 2 2 5 を介して連結されている。肩関節 2 2 1 はロール、ピッチおよびヨー軸回りの回動自由度を有し、肘関節 2 2 3 はピッチ軸回りの回動自由度を有し、手根関節 2 2 5 はロール、ピッチ、ヨー軸回りの回動自由度を有している。手部 2 3 は、手掌部から延設され、人間の手の親指、人差指、中指、薬指および小指のそれぞれに相当する 5 つの指機構を備えている。

【 0 0 4 5 】

脚部 2 4 は第 1 脚リンク 2 4 2 と、第 2 脚リンク 2 4 4 とを備えている。基体 2 0 と第 1 脚リンク 2 4 2 とは股関節 2 4 1 を介して連結され、第 1 脚リンク 2 4 2 と第 2 脚リンク 2 4 4 とは膝関節 2 4 3 を介して連結され、第 2 脚リンク 2 4 4 と足部 2 5 とは足関節 2 4 5 を介して連結されている。股関節 2 4 1 はロール、ピッチおよびロール軸回りの回動自由度を有し、膝関節 2 4 3 はピッチ軸回りの回動自由度を有し、足関節 2 4 5 はロールおよびピッチ軸回りの回動自由度を有している。

10

【 0 0 4 6 】

ロボット（第 2 運動体）2 は図 2 に示されているような運動制御システム 2 0 0 を備えている。運動制御システム 2 0 0 は CPU、ROM、RAM、I/O 等によって構成され、人間（第 1 運動体）1 の運動態様の学習結果としてモデルを定義し、ロボット 2 の運動態様を当該モデルにしたがって制御する。なお、制御システムはロボット 2 の内部ネットワークを通じて接続された主制御ユニットおよび一または複数の副制御ユニットより構成される分散制御システムであってもよい。

20

【 0 0 4 7 】

ロボット 2 に搭載されているコンピュータを運動制御システム 2 0 0 として機能させるための「運動制御プログラム」は ROM 等の記憶装置に予め格納されていてもよいが、ロボット 2 から要求があった等の任意のタイミングで当該プログラムがサーバからネットワークや人工衛星を介して当該コンピュータに配信（ダウンロード）または放送され、当該プログラム用のメモリに格納されてもよい。

【 0 0 4 8 】

運動制御システム 2 0 0 は第 1 処理部 2 1 0 と、第 2 処理部 2 2 0 とを備えている。第 1 処理部 2 1 0 と第 2 処理部 2 2 0 とは同じ CPU またはプロセッサにより構成されていてもよく、異なる CPU またはプロセッサにより構成されていてもよい。

【 0 0 4 9 】

第 1 処理部 2 1 0 は人間 1 の周囲に配置されたカメラ（トラッカー）2 0 2 を通じて得られる当該人間の画像に基づき、当該人間が運動するときの環境を表す「外的因子」および運動態様を表す「内的因子」のそれぞれの特徴的部分を「外的特徴因子」および「内的特徴因子」として測定する。また、第 1 処理部 2 1 0 は当該測定結果により表される外的特徴因子および内的特徴因子の離散的な相関関係に基づき、外的特徴因子および内的特徴因子の連続的な相関関係を表す「モデル」を定義する。

30

【 0 0 5 0 】

第 2 処理部 2 2 0 はロボット 2 が接する環境を表す外的因子のうち「外的特徴因子」を測定する。また、第 2 処理部 2 2 0 は外的特徴因子の測定結果と第 1 処理部 2 1 0 により定義されたモデルとに基づいて「内的特徴因子」を算定する。さらに、第 2 処理部 2 2 0 は少なくとも算定された内的特徴因子が実現されるように、センサ 2 0 4 の出力に基づいてアクチュエータ 2 0 6 の動作をフィードバック制御することによりロボット 2 の運動態様を制御する。

40

【 0 0 5 1 】

続いて、前記構成の運動制御システムの機能について説明する。

【 0 0 5 2 】

まず、第 1 処理部 2 1 0 が「第 1 処理」を実行する（図 3 / S 0 1 0 ）。

【 0 0 5 3 】

これにより、たとえば図 4（a）～（c）に示されているように、人間 1 が右手に持ったラケット R を用いて前方から飛んでくる玉 Q をフォアハンドで打ち返すという一定のス

50

タイルの運動態様の学習結果としてモデルが定義される。詳細には、人間 1 がラケット R を右手で持ち、右肘を曲げてラケット R を肩と同じくらいの高さでその前面を前方に向けて構えた待機状態から、ラケット R を動かすことにより、その前面を前方から飛んできた玉 Q に当てる動作の学習結果としてモデルが定義される。

【 0 0 5 4 】

具体的には、外的因子および内的因子のそれぞれの特徴的部分が「外的特徴因子」および「内的特徴因子」として人間 1 が前記スタイルにしたがって運動を繰り返すたびに測定される（図 3 / S 0 1 2 ）。

【 0 0 5 5 】

「外的因子」は人間 1 が接する環境を表す因子であり、前記例では任意時刻における玉 Q の位置およびその時間微分（速度、加速度など）が外的因子（空間的かつ時間的に区分される環境の構成要素）に該当する。「内的因子」は人間 1 の運動態様を表す因子であり、前記例では任意時刻における特定部位（手首、肘、肩など）の位置および各関節角度ならびにこれらの時間微分（特定部位の速度および加速度、ならびに関節角速度および関節角加速度など）、特定部位の異なる時刻における相対ベクトルの長さや方位、異なる複数の特定部位の相対位置、相対速度等が内的因子（空間的かつ時間的に区分される運動態様の構成要素）に該当する。

【 0 0 5 6 】

たとえば光学式モーションキャプチャー（モーキャプ）システムにより任意時刻における特定部位の位置が測定される。光学式モーションキャプチャーシステムによれば、人間 1 の周囲に配置された一または複数のカメラ（トラッカー）202 による、この人間 1 の身体に付されたマーカーの検出結果に基づいて人間 1 の特定部位の位置が測定される。任意時刻における玉位置は、たとえばカメラ 202 を通じて得られる、玉 Q またはこれに付されたマーカーの検出結果に基づいて測定される。なお、特定部位および玉 Q のそれぞれの位置を測定するカメラ（トラッカー）202 は、同一種類のカメラであってもよく、異なる種類のカメラ（可視光カメラ、赤外光カメラ等）であってもよい。

【 0 0 5 7 】

その他、機械式、磁気式または慣性式モーションキャプチャーシステムにより任意時刻における手首位置が測定されてもよい。機械式モーションキャプチャーシステムによれば、人間 1 に装着されたサポータまたはスーツに取り付けられた複数のポテンシオメータからの当該人間 1 の各関節角度を表す出力信号に基づいて手首位置が測定される。磁気式モーションキャプチャーシステムによれば、人間 1 に装着されたサポータまたはスーツに取り付けられた複数の磁気センサからの出力信号に基づいて手首位置が測定される。慣性式モーションキャプチャーシステムによれば、人間 1 に装着されたサポータまたはスーツに取り付けられた複数の慣性モーメントセンサからの当該人間 1 の腕等の慣性モーメントを表す出力信号に基づいて手首位置が測定される。

【 0 0 5 8 】

図 5 には人間 1 によって前記動作が繰り返されたときに $x - y$ 平面において特定部位としての手首の位置および玉位置が変化の様子が示されている。手首位置はラケット R が待機位置にあるときの初期手首位置 $p_0(i)$ （ i は動作回数を示す指数）から（図 4（a）参照）、動いているラケット R に玉 Q が当たったときの 1 次手首位置 $p_1(i)$ を経て（図 4（b）参照）、ラケット R の前方への動きが停止したときの 2 次手首位置 $p_2(i)$ に変化している（図 4（c）参照）。また、玉位置は初期玉位置 $q_0(i)$ から（図 4（a）参照）、動いているラケット R に玉 Q が当たったときの 1 次玉位置 $q_1(i)$ を経て（図 4（b）参照）、ラケット R の前方への動きが止まったときの 2 次玉位置 $q_2(i)$ に変化の様子が示されている（図 4（c）参照）。なお、手首位置および玉位置は z 方向についても変化している。

【 0 0 5 9 】

本実施形態では、1 次玉位置（＝動いているラケット R に玉 Q が当たったときの玉位置） $q_1(i)$ が「外的特徴因子」として測定される。ラケット R に玉 Q が当たったことは

、たとえばカメラ 202 を通じて得られる画像解析によって測定される玉 Q の速度変化（特に y 方向の速度変化（図 5 参照））が閾値を超えたことによって把握される。なお、マイク（図示略）を通じて得られる、ラケット R に玉 Q が当たった音に基づいて、ラケット R に玉 Q が当たったことが把握されてもよい。

【0060】

さらに、2 次手首位置（＝ラケット R の前方への動きが停止したときの手首位置） $p_2(i)$ が「内的特徴因子」として特定される（図 4（c）参照）。ラケット R の前方への動きが停止したことは、たとえばモーキャブシステムにより測定される手首の速度変化（特に y 方向の速度変化（図 5 参照））が閾値を超えたことによって把握される。

【0061】

任意の外的因子のうちどれが外的特徴因子に該当し、任意の内的因子のうちどれが内的特徴因子に該当するかは実験や研究等によって予め設定されていてもよい。そのほか、複数の外的因子および複数の内的因子が測定され、当該測定結果との乖離度が閾値以下であるという要件を満たす連続的な相関関係が定義される外的因子および内的因子のそれぞれが外的特徴因子および内的特徴因子として特定されてもよい。複数時点における玉 P の位置、速度、加速度等が複数の外的因子に該当する。複数時点における手首、肘、肩等の位置、速度および加速度、ならびに各関節角度、角速度および角加速度等が複数の内的因子に該当する。

【0062】

また、外的特徴因子および内的特徴因子の測定結果のうち、規則性に関する要件を満たさない測定結果が除去されることにより規則的集合が抽出される（図 3 / S014）。具体的には、初期手首位置 $p_0(i)$ が「内的付加因子」として測定される。また、「内的付加因子により定義される空間（3 次元空間）における複数の単位立方体のうち、当該測定点が高密度で集まっている単位立方体に対応している」という規則性に関する要件を満たさない、回数 j における外的特徴因子 $q_1(j)$ および内的特徴因子 $p_2(j)$ の測定結果が除去される。ここで、単位立方体における測定点が高密度であるとは、当該密度が最高であることや、閾値以上であることを意味している。そして、当該測定結果が除去された残りの測定結果の集合が「規則的集合」として抽出される。

【0063】

なお、初期手首位置 $p_0(i)$ に代えてまたは加えて、1 次手首位置 $p_1(i)$ もしくは 2 次手首位置 $p_2(i)$ 等、種々のタイミングにおける手首位置、または、手首速度および加速度等の手首位置の時間微分を内的付加因子として当該要件が定義されてもよい。たとえば、図 9 に示されているように人間 1 が、その手首を初期手首位置 p_0 （時刻 $t = t_0$ ）からテイクバック位置 p_{0+} （時刻 $t = t_{0+}(> t_0)$ ）に動かし、その上で 1 次手首位置 p_1 （時刻 $t = t_1$ ）および 2 次手首位置 p_2 （時刻 $t = t_2$ ）を経て、戻り位置 p_{2+} （時刻 $t = t_{2+}(> t_2)$ ）に動かした場合について考える。時刻 t_{0+} から時刻 t_2 までの間の手首位置の 3 次元空間における軌跡（ $p_{0+} \sim p_1 \sim p_2$ ）が、図 10（a）（b）に示されているようなテイクバック位置 p_{0+} を一方の端面上に包含する略円柱状の領域に含まれていることが規則性に関する要件として定義されていてもよい。図 10（a）に示されているように当該軌跡が当該領域に全て含まれているときに測定された外的特徴因子（1 次玉位置 q_1 ）および内的特徴因子（2 次手首位置 p_2 ）は、当該要件を満たしていると判定され、規則的集合に包含される。一方、図 10（b）に示されているように当該軌跡の一部が当該領域から外れているときに測定された外的特徴因子（1 次玉位置 q_1 ）および内的特徴因子（2 次手首位置 p_2 ）は、当該要件を満たしていないと判定され、規則的集合から除外される。

【0064】

また、人間 1 の手首に代えてまたは加えて、肘、肩等、手首とは異なる位置を内的因子として当該要件が定義されてもよい。

【0065】

さらに、人間 1 の身体部分の位置に代えてまたは加えて、当該身体部分の速度および加

10

20

30

40

50

速度等の時間微分を内的付加因子として当該要件が設定されてもよい。たとえば、図 9 に示されているように人間 1 がその手首を動かした場合、図 11 に示されているように時刻 t_0 および時刻 t_2 のそれぞれにおける手首の速さの大きさ $|v|$ が閾値 v_s 以下であること（手首が静止していること）が当該要件として定義されていてもよい。

【0066】

また、内的付加因子に代えてまたは加えて、初期玉位置 $q_0(i)$ 、1 次玉位置 $q_1(i)$ および 2 次玉位置 $q_2(i)$ 等、種々のタイミングにおける玉 P の位置、速度および加速度等の外的因子（外的付加因子）によって当該要件が定義されてもよい。

【0067】

また、内的付加因子および外的付加因子のうち一方または両方の測定点の空間密度ではなく、内的特徴因子および外的特徴因子のうち複数の因子の組み合わせの測定点間の距離等、空間における異なる因子の測定点間の配置関係によって規則性に関する要件が定義されてもよい。たとえば、初期玉位置 $p_0(i)$ および 1 次手首位置 $q_1(i)$ の相対ベクトルの長さまたは方位が所定範囲にあることが当該要件として設定されてもよい。

【0068】

さらに、外的特徴因子および内的特徴因子の測定結果を構成要素とする規則的集合に基づき、LWPR (Locally Weighted Projection Regression) アルゴリズム等の統計的手法にしたがって局所的モデルが定義され、かつ、その統合結果としてのモデルが定義される（図 3 / S016）。なお、LWPR アルゴリズムのほか、回帰モデル、ニューラルネットワークモデル等、他の統計的手法にしたがってモデルが定義されてもよい。当該モデルは外的特徴因子（スカラーまたはベクトル） q および内的特徴因子（スカラーまたはベクトル） p の連続的な相関関係を表す、次式（1）の写像 f を表している。

【0069】

$$f(q) = p \quad (1)$$

具体的には、外的特徴因子 $q_1(i)$ (x , y および z 成分を有する 3 次元ベクトル (q_{1x} , q_{1y} , q_{1z}) である。) および内的特徴因子 $p_2(i)$ (x , y および z 成分を有する 3 次元ベクトル (p_{2x} , p_{2y} , p_{2z}) である。) の測定結果が当該因子により定義される 6 次元空間（6 つの変数 q_{1x} , q_{1y} , q_{1z} , p_{2x} , p_{2y} および p_{2z} により定義される空間である。）においてプロットされる。各プロットは外的特徴因子 $q_1(i)$ および内的特徴因子 $p_2(i)$ の離散的な相関関係を表している。簡単のため各特徴因子の x 成分の測定結果についてのみ考察すると、図 5 に示されているように人間 1 が打ち返し運動を繰り返した場合、図 6 (a) に示されているように各特徴因子の x 成分 (q_{1x} , p_{2x}) の測定結果がプロットされる。人間 1 がさらに同じスタイルにしたがって運動を繰り返すたびに特徴因子空間におけるプロット数が徐々に増えていく。そして、図 6 (b) に示されているように当該プロットにより表される外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 のそれぞれの x 成分の局所的な相関関係を近似的に表す曲線 LM1 ~ LM3 のそれぞれが「局所的モデル」として定義される。局所的モデル LM1 ~ LM3 のそれぞれは線形モデルであってもよく、非線形モデルであってもよい。なお、各局所的モデルが共通の性質（たとえば線形性）を有していれば、当該性質を表現するための共通の規則にしたがって異なる局所的モデルが定義されうる。これにより、局所的モデルひいてはモデルの定義が簡易化される。

【0070】

さらに、複数の局所的モデルが重ね合わせられることによって外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の連続的な相関関係を表す「モデル」が定義される。たとえば、図 6 (b) に示されている局所的モデル LM1、LM2 および LM3 は、任意の外的特徴因子 q_1 の x 成分と各局所的モデルの中心の x 成分との距離に応じて重み付けられて重ね合わせられる。重み付けに際して、各局所的モデルの局所性を表すパラメータによって正規化された距離に応じた重みが各局所的モデルに付されてもよい。これにより、図 6 (c) に示されているような、任意の外的特徴因子 q_1 の x 成分に応じて内的特徴因子 p_2 の x 成分が一義的に決定されうるモデル M が定義される。前記のように簡単のために各特徴因子の x

10

20

30

40

50

成分のみが考察された場合のモデルの定義方法について説明したが、実際には各特徴因子の x 成分、 y 成分および z 成分のすべてが考察された上でモデルが定義される。すなわち、次式 (2) で表されるように、任意の外的特徴因子 $q_1 = (q_{1x}, q_{1y}, q_{1z})$ に基づいて一義的に内的特徴因子 $p_2 = (p_{2x}, p_{2y}, p_{2z})$ が決定される、 3×3 の行列 A で表される局所的モデルが定義され、それらを重ね合わせることでモデルが定義される。

【0071】

$$p_2 = A \cdot q_1 \quad (2)$$

続いて、第2処理部220により「第2処理」が実行される(図2/S020)。

【0072】

これにより、第1処理部210によって定義されたモデルにしたがって、たとえば図7(a)~(c)に示されているように、ロボット(第2運動体)2が右の手部23に持ったラケットRを用いて前方から飛んでくる玉Qをフォアハンドで打ち返すという一定のスタイルの運動態様が再現される。

【0073】

具体的には、ロボット2が接する「外的特徴因子」が測定される(図3/S022)。前記例ではロボット2が前方から飛んでくる玉QにラケットRを当てる位置が外的特徴因子として予測される。ロボット2が玉QにラケットRを当てる位置は、カメラ202の画像解析によって測定される玉Qの現在位置および速度に基づき、この玉Qが設定平面または曲面を通過する位置として予測される。たとえば図8(a)に示されているように玉Qの現在位置 $q_0(k)$ ($k = 1, 2$) および速度 $v_0(k)$ に基づき、この玉Qが一点鎖線で示されている面を通過する位置 $q_1(k)$ が外的特徴因子として予測または測定される。なお、第2処理部220による測定対象となる外的特徴因子は予め定められていてもよく、第1処理部210によって複数の外的因子の中から選定されてもよい。また、この面はロボット2が右の手部23で把持しているラケットRを玉Qに当てることを考慮に入れて、ロボットの左右において非対称的に設定されていてもよい。

【0074】

また、測定された外的特徴因子 $q_1(k)$ と、第1処理部210によって定義されたモデルとに基づき、内的特徴因子が算定される(図3/S024)。たとえば図6(c)に示されているようなモデルにしたがって、図8(a)に破線で示されている、ラケットRの前方への動きが停止したときのロボット2の手首位置 $p_2(k)$ が内的特徴因子として算定される。なお、人間1およびロボット2のそれぞれのサイズまたは運動スケール(いわゆるリーチなど)の相違に鑑みて、両者の運動スケールを整合させるためのスケーリング因子が乗じられた内的特徴因子が算定されてもよい。

【0075】

そして、内的特徴因子 $p_2(k)$ が再現されるようにロボットの運動態様が制御される(図3/S026)。たとえば、図8(b)に示されているように、ロボット2の手首位置が、少なくともラケットRの前方への動きが停止したときに算定された内的特徴因子 $p_2(k)$ に合致するように制御される。これにより、ロボット2が図7(a)~(c)に示されているように、右手部23に持ったラケットRを用いて前方から飛んでくる玉Qをフォアハンドで打ち返すという一定のスタイルの運動態様が再現される。

【0076】

前記機能を発揮する運動制御システム200によれば、人間(第1運動体)1の運動態様のうち特徴的部分さえ学習されれば、他の部分は学習されなくても十分であるという思想のもとにその運動態様が学習される(図3/S010、図4(a)~(c)参照)。具体的には、人間1が接する環境を表す多数の外的因子のうち特徴的部分としての外的特徴因子(1次玉位置) q_1 と、人間1の運動態様を表す多数の内的因子のうち特徴的部分としての内的特徴因子(2次手首位置) p_2 とが測定される。また、当該測定結果により表される外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の離散的な相関関係に基づき、外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の連続的な相関関係を表すモデルが定義される(図3/S012, S016、図6(a)~(c)参照)。このため、外的特徴因子 q_1 および内的特

10

20

30

40

50

徴因子 p_2 のそれぞれが定義域において網羅的に測定されなくても、任意の外的特徴因子 q_1 に基づいて内的特徴因子 p_2 が一義的に特定されるモデルが定義されうる。当該モデルは、さまざまな環境下における人間 1 の振舞または運動態様の傾向を、外的因子および内的因子のそれぞれの全部によって厳密にではなく、外的因子および内的因子のそれぞれの特徴的な一部によっておおまかに表すモデルであるといえる。

【 0 0 7 7 】

そして、人間 1 の運動態様のうち特徴的部分さえ再現されれば、他の部分は再現されなくても十分であるという思想のもと、当該学習結果としてのモデルが用いられてロボット 2 の運動態様が制御される（図 3 / S 0 2 0、図 7 (a) ~ (c) 参照）。具体的には、ロボット 2 が接する外的特徴因子 q_1 が測定され、当該学習結果としてのモデルと当該測定結果とに基づいて内的特徴因子 p_2 が算定される（図 3 / S 0 2 2 , S 0 2 4 参照）。当該モデルは外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の連続的な相関関係を表しているの
で、任意の外的特徴因子 q_1 に基づいて内的特徴因子 p_2 が一義的に算出されうる。さらに、少なくとも当該内的特徴因子 p_2 が実現されるように運動計画がたてられ、かつ、当該運動計画にしたがってロボット 2 の運動態様が制御される（図 3 / S 0 2 6、図 8 (a) (b) 参照）。

【 0 0 7 8 】

前述のような学習方法および当該学習結果の利用方法により、人間 1 の運動態様を規範としながらも当該運動態様に必要以上に拘束されることなく、ロボット 2 の運動態様が制御されうる。したがって、人間 1 が接する環境およびこれに応じた運動態様と、ロボット 2 が実際に接する環境とを鑑みて、当該ロボット 2 の運動を適切に制御することができる。

【 0 0 7 9 】

さらに、内的付加因子 p_0 の測定結果のまとまりの程度に鑑みて、人間 1 が一定のスタイルにしたがって運動したときの測定結果とはいえない（規則性に関する要件を満たさない）測定結果が除去されて規則的集合が抽出される（図 3 / S 0 1 4 参照）。これにより、たとえば人間 1 がラケット R を構えている位置または初期手首位置（内的付加因子） p_0 が他の場合よりも著しく異なるような状態における測定結果は、モデル定義の基礎から除外される。そして、当該規則的集合が用いられることにより、当該一定のスタイルにしたがった人間 1 の運動態様の学習結果として適当なモデルが定義されうる。

【 0 0 8 0 】

なお、前記実施形態では「第 1 運動体」としての人間 1 の運動態様の学習結果としてモデルが定義され、当該モデルに基づいて「第 2 運動体」としてのロボット 2 の運動態様が制御された。そのほか「第 1 運動体」としての馬、犬等、人間とは異なる動物の運動態様の学習結果としてモデルが定義され、当該モデルに基づいて「第 2 運動体」としての当該動物を模した動物型ロボットの運動態様が制御されてもよい。また「第 1 運動体」としてのロボットの運動態様の学習結果としてモデルが定義され、当該モデルに基づいて「第 2 運動体」としての他の同型ロボットの運動態様が制御されてもよい。

【 0 0 8 1 】

さらに、前記実施形態では人間 1 がその片手（特定部位）で持ったラケット R で前方から飛んでくる玉（物体）Q を（フォアハンドで）打ち返すという運動態様の学習結果としてモデルが定義され、当該モデルに基づき、ロボット 2 が同様にその片方の手部 2 3 で把持したラケット R で前方から飛んでくる玉 Q を打ち返すという運動態様が制御された（図 4 (a) ~ (c)、図 7 (a) ~ (c) 参照）。そのほか、人間がその片脚でボールを蹴る、両手で持ったゴルフクラブでボールを打つ、片手で持ったはさみで紙を切る、ものに塗料や接着剤を塗布する、物を組み立てる等、さまざまな運動態様の学習結果としてモデルが定義され、当該モデルに基づいてロボット 2 の運動態様が制御されてもよい。

【 0 0 8 2 】

また、第 1 処理部 2 1 0 が人間 1 の外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の測定結果の追加に伴ってモデルを逐次定義し、第 2 処理部 2 2 0 が当該逐次定義されるモデルに基

10

20

30

40

50

づいてロボット2の運動態様を制御してもよい。これにより、人間1の運動態様の最新の学習結果としてのモデルに基づき、ロボット2の運動態様を制御することができる。

【0083】

さらに、第2処理部220が、ロボット2が接する外的特徴因子 q_1 を逐次測定し、当該逐次測定される外的特徴因子 q_1 に基づいてロボット2の運動態様を制御してもよい。これにより、ロボット2が接する環境、ひいては当該環境を表す外的特徴因子 q_1 が変動するような場合でも、外的特徴因子 q_1 の最新の測定結果（時々刻々変化する玉Qの予測位置）に鑑みて、ロボット2の運動態様が適当に制御されうる。

【0084】

また、第1処理部210が、測定結果により表される外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の離散的な相関関係と、当該離散的な相関関係に基づいて定義される外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の連続的な相関関係との乖離度を評価し、該乖離度が閾値以下であることを要件として、当該連続的な相関関係を表すモデルを定義してもよい。さらに、モデルの再定義に際して規則的集合が再定義されてもよい。

【0085】

当該構成の運動制御システム200によれば、外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の離散的な相関関係と、当該離散的な相関関係に基づいて定義される外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の連続的な相関関係との乖離度が閾値以下であることを要件として当該連続的な相関関係を表すモデルが定義される。このため、さまざまな環境に応じた人間（第1運動体）1の運動態様の傾向を表す観点から適当なモデルが定義される。また、当該要件が満たされるように外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 が再度測定され、当該再度の測定結果に基づいてモデルが再度定義されうる。そして、当該モデルに基づいてロボット2の運動態様が人間1の運動態様の大まかな傾向にしたがうように制御されうる。言い換えると、人間1の運動態様のおおまかな傾向を表す観点から不適当なモデルが設定されることが防止され、かつ、当該不適当なモデルに基づいてロボット2の運動態様が制御されることが防止されうる。

【0086】

さらに、第1処理部210が、前記要件が満たされるように外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の測定結果のうち一部または全部を除いてモデルを定義してもよい。

【0087】

当該構成の運動制御システム200によれば、外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の離散的な相関関係と、当該離散的な相関関係に基づいて定義される外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の連続的な相関関係との乖離度が閾値以下であるという要件を満たすように、当該離散的な相関関係を表す両特徴因子 q_1 および p_2 の測定結果が取捨選択される。そして、取捨選択された測定結果に基づいて両特徴因子 q_1 および p_2 の連続的な相関関係を表すモデルが定義され、当該モデルに基づいてロボット2の運動態様が制御される。このため、さまざまな環境に応じた人間1の運動態様の傾向を表す観点から適当なモデルが定義され、かつ、当該モデルに基づいてロボット2の運動態様が人間1の運動態様の大まかな傾向にしたがうように制御されうる。

【0088】

また、第1処理部210が、人間1が異なる環境下で一定のスタイルにしたがって複数回にわたり運動するときの外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の測定結果に基づいてモデルを定義し、競合する複数の規則的集合が抽出された場合、当該複数の規則的集合のそれぞれに対応する新たなスタイルを定義してもよい。そして、第1処理部210が新たなスタイルにしたがって複数回にわたり運動するときの外的特徴因子 q_1 および内的特徴因子 p_2 の測定結果に基づいてモデルを再び定義してもよい。これにより、一のスタイルにしたがった人間1の運動態様の学習結果として複数のモデルが定義されうるような場合、複数の新たなスタイルが定義される。たとえば「ラケットRを玉Qにフォアハンドで当てる」というスタイルが「ラケットRで玉Qにトップスピンをかける」「ラケットRで玉Qにバックスピンをかける」という新たな2つのスタイルに定義される。さらに、新たな

スタイルのそれぞれにしたがった人間 1 の運動態様の学習結果としてモデルが定義され、当該モデルに基づいてロボット 2 の運動態様が制御される。たとえばロボット 2 が右手部 23 で把持したラケット R で前方から飛んできた玉を、特定方向のスピンをかけながら打ち返すようにその動作が制御される。そして、ロボット 2 の運動態様が一のモデルに基づいて制御されているにもかかわらず、似たような環境に応じてロボット 2 が異なるスタイルで運動するような事態が回避される。

【図面の簡単な説明】

【0089】

【図 1】本発明の一実施形態としての運動制御システムの制御対象であるロボットの構成説明図

10

【図 2】本発明の一実施形態としての運動制御システムの構成説明図

【図 3】本発明の一実施形態としての運動制御方法の説明図

【図 4】人間の運動態様の例示図

【図 5】外的因子および内的因子の例示図

【図 6】モデルの定義方法の説明図

【図 7】ロボットの運動態様の例示図

【図 8】ロボットの運動態様の制御方法の説明図

【図 9】規則的集合の定義に関する説明図

【図 10】規則的集合の定義に関する説明図

【図 11】規則的集合の定義に関する説明図

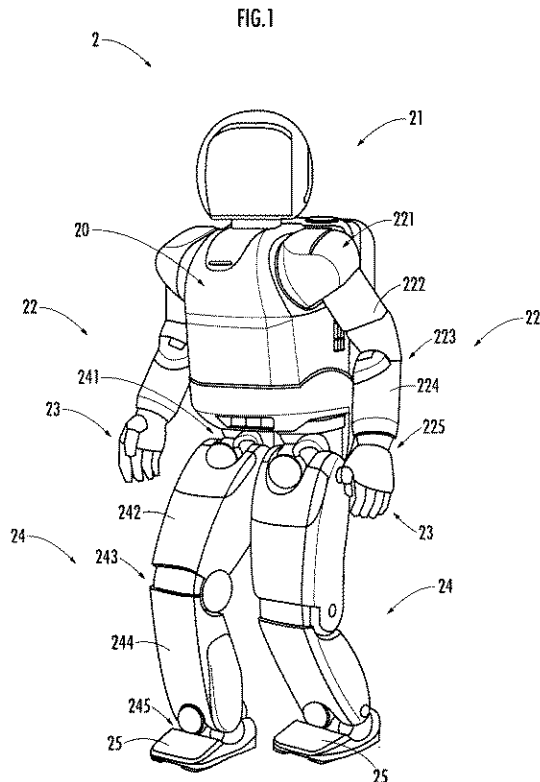
20

【符号の説明】

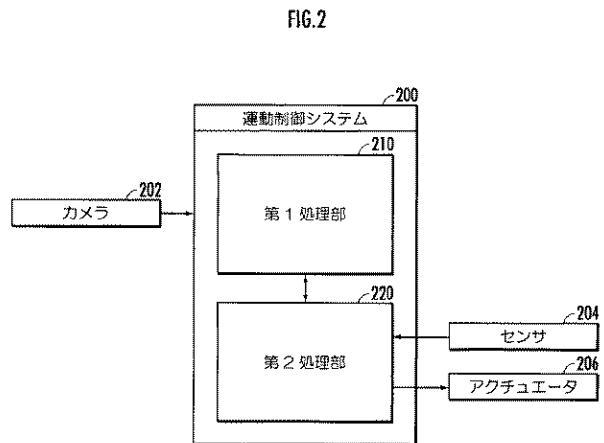
【0090】

1 人間（第 1 運動体）、2 ロボット（第 2 運動体）、200 運動制御システム、202 カメラ（撮像装置）、210 第 1 処理部、220 第 2 処理部

【図 1】

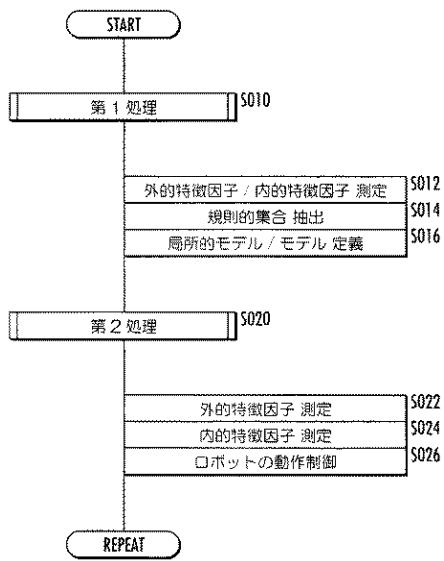


【図 2】

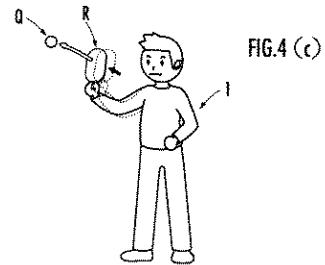
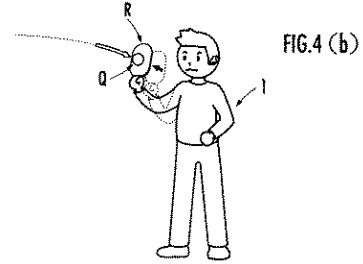
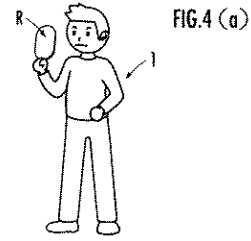


【 図 3 】

FIG.3

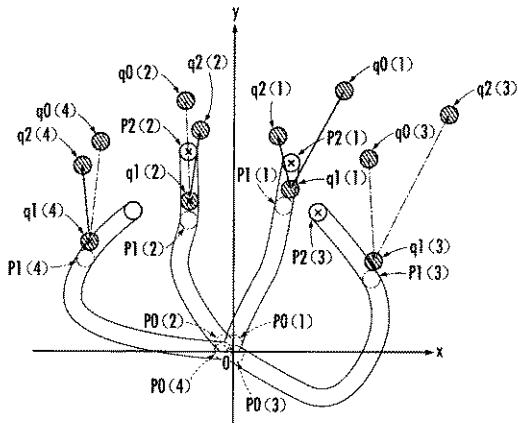


【 図 4 】

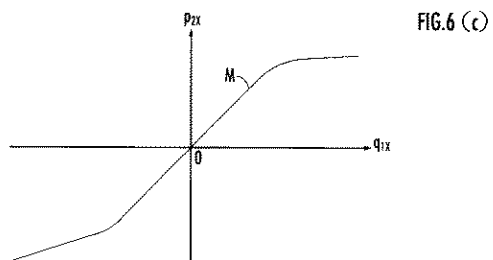
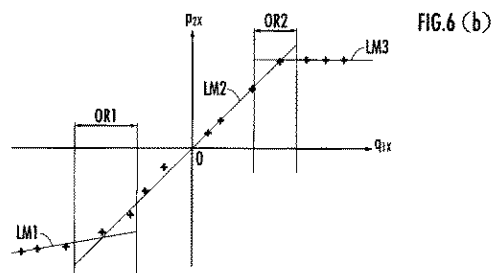
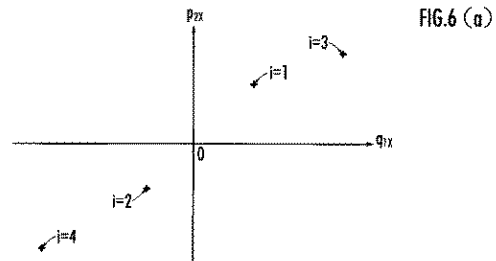


【 図 5 】

FIG.5



【 図 6 】



【図 7】

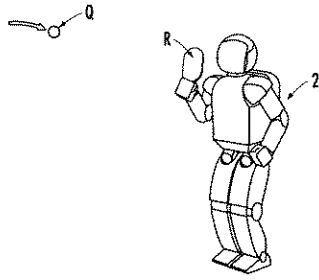


FIG. 7 (a)

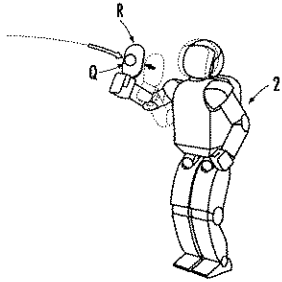


FIG. 7 (b)

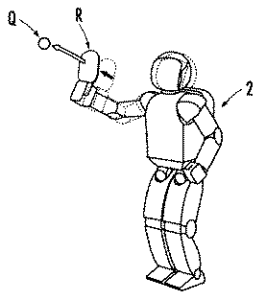
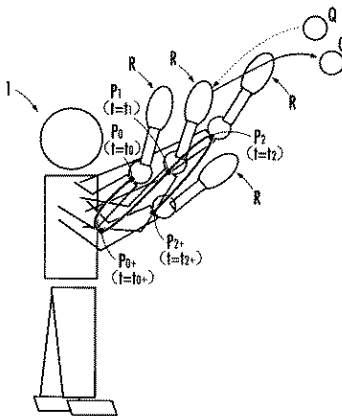


FIG. 7 (c)

【図 9】

FIG. 9



【図 8】

FIG. 8 (a)

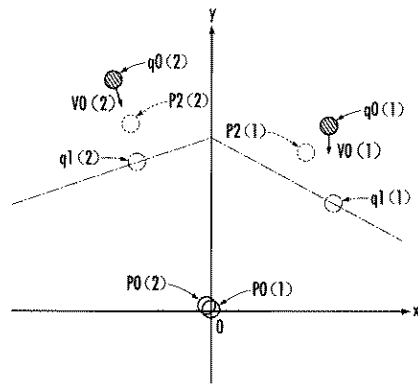
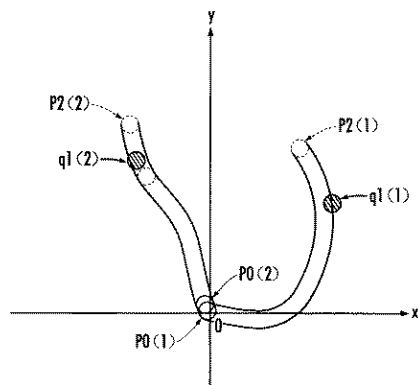
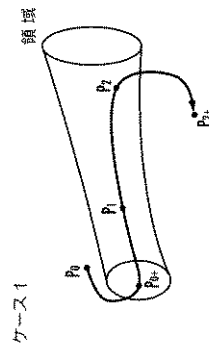


FIG. 8 (b)



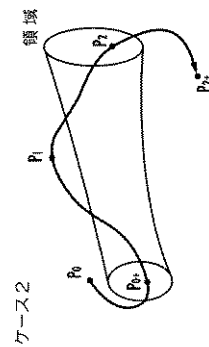
【図 10】

FIG. 10 (a)



P_{0+} から P_2 の間に領域を設定して、
その間に軌道がはみ出さなければ OK

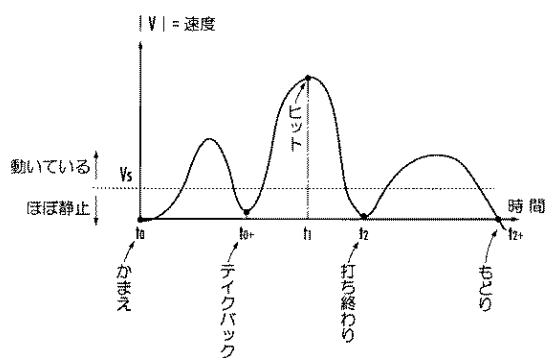
FIG. 10 (b)



P_{0+} から P_2 の間で設定された領域から、
軌道がはみ出しているため NG

【図 1 1】

FIG.11



フロントページの続き

(74)代理人 100125210

弁理士 加賀谷 剛

(72)発明者 長谷川 忠明

埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内

(72)発明者 上田 雄悟

埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内

(72)発明者 射場 総司

埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内

(72)発明者 ベンティベーナ ダリン

京都府相楽郡精華町光台二丁目 2 番地 2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

F ターム(参考) 3C007 CS08 KS10 LS00 LS08 LS13 LW00 LW12 WA03 WA13 WB21

WB27